

浙江大学实验预习报告

课程名称: 应用光学实验 实验类型: 专业必修实验

实验项目名称: 三、光能及其传播计算

实验项目组成员: 屠锡涛 黄剑锋

实验地点: 家中 实验日期: 2020 年 5 月 7 日

指导老师: 郑晓东、吕玮阁 实验报告成绩: _____

一、 实验目的和要求

了解好的光学系统在设计时需要考虑和适应的多种光环境变化的实际条件，并了解光学系统设计的核心原理与方法：

- 1) 用单反或微单相机测评周围环境的照度
- 2) 曝光量比例测试
- 3) 环境光照度水平的评估
- 4) 利用相机的亮度评估
- 5) 计算机显示屏角度发光特性评测
- 6) 成像光学系统像面照度分布

二、 实验方案和原理

一、 实验 3—1

1) 3—1a 用单反或微单相机评测周围环境的照度

(本实验采用索尼 NEX-5T 微单相机)

1. 将相机设置为手动模式，将相机的镜头取下，将相机探测器的感光面作为照度探测器测量光照。
2. 设置 ISO 值和快门时间，将相机探测器的感光面对准光源拍照。
3. 保存照片，并计算所记录照片中间部分的平均灰度。

2) 3—1b 曝光量比例测试

1. 设置合适的光源，例如手机上的手电筒、电脑屏幕或漫反射白纸，保持光源稳定与相机本体固定。
2. 将相机设置为手动模式，将相机的镜头取下，固定 ISO 值，改变快门速度，将相机探测器的感光面对准光源拍照记录。
3. 判读图像灰度值，列出灰度与快门时间对应表格，获得灰度变化与快门变化对应比例关系。
4. 估测图像 γ 值。

3) 3—1c 环境光照度水平的评估

1. 评估桌面阅读照度
2. 太阳光下的直射照度
3. 室内照度
4. 夜晚全暗条件下照度
5. 比较评估数值与教科书表 6-3 所列数值的差异，记录所在位置的地理纬度及天气状况（晴，阴，雨）

二、实验 3—2

1) 3—2a 利用相机的亮度评估

由 ISO12232-2019 标准可以导出：

$$ISO = \frac{15.4 \times f\#^2}{L \times t}$$

式中：f#为相机的 f 数，t 为快门时间，L 为景物亮度；利用该公式计算得到 L。之后利用该式评估太阳，LED 光源，计算机显示屏，手机手电筒等的亮度并记录数值

2) 3—2b 计算机显示屏角度发光特性评测

1. 夜晚或拉好窗帘，关闭室内照明灯，尽量消除环境光的影响。
2. 将显示屏设为白屏或其他颜色均匀的屏幕。
3. 从不同角度拍摄记录屏幕，并计算屏幕亮度。
4. 评估在多大角度范围内近似符合朗伯发光体。

3) 3—2c 成像光学系统像面照度分布

1. 将计算机屏幕设定为白色或其他单色显示。
2. 将相机变焦镜头的焦距调到最短，正对、拍摄完整屏幕。
3. 将相机变焦镜头的焦距调到最长，正对、拍摄完整屏幕。
4. 计算像面照度分布，验证书中的公式 6-43

$$E_w = E \cos^4 w' \quad (6-43)$$

三、 主要仪器设备（系统、软件或平台）

核心拍摄设备：索尼 NEX-5T

产品外观：



主要技术参数：

- 传感器尺寸：APS 画幅（23.5*15.6mm）
- 有效像素：1610 万
- 数码变焦：4 倍
- 影像处理器：BIONZ Engine
- 最高分辨率：4912×3264
- 快门性能：速度 30-1/4000 秒，B 门，闪光同步速度：1/160 秒
- 感光度：自动（ISO 100-3200），可调整范围（ISO 100-25600）

四、 实验记录和结果分析

一、 实验 3-1

1) 3-1a 用单反或微单相机测评周围环境的照度

（本实验采用索尼 NEX-5T 微单相机）

这部分实验核心为灰度计算工作，我们利用 OpenCV 开源计算机视觉库+Python 获取待处理图像的灰度结果，主要核心内容与 3-2b 实验共同展示。

2) 3-1b 曝光度比例测试

实验记录

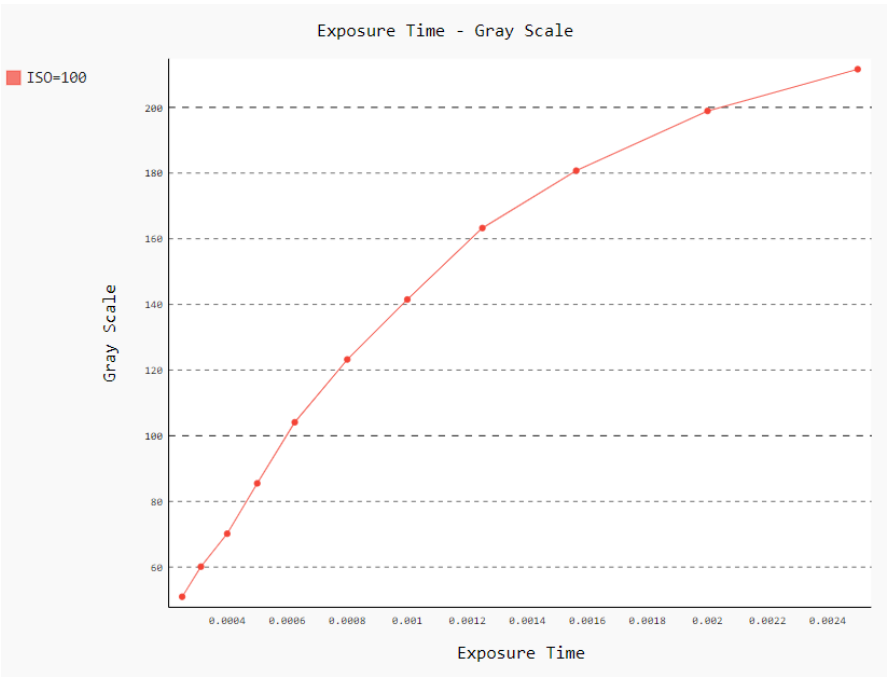
以电脑屏幕为待测光源，将相机设置为手动模式，镜头取下，固定 ISO=100，改变快门速度，在同一位置正对屏幕中央进行拍摄。随后利用 OpenCV 计算所得照片的灰度值，并作出灰度随快门时间变化的曲线，数据记录如下：

注：为减小成像边缘渐晕对灰度测量的影响，这里取照片中央大小为原尺寸 1/20 的部分的平均灰度作为该曝光时间对应的灰度值。

曝光时间 t(s)	中央平均灰度
0.00025	10.67904678
0.0003125	14.25534359
0.0004	19.8919267
0.0005	28.36844722
0.000625	41.68024221
0.0008	57.21734638
0.001	75.69370423
0.00125	101.3858539
0.0015625	127.9369262
0.002	153.9194068
0.0025	176.7721023

结果分析：

利用计算机对图像进行处理。以快门时间为横轴，计算出的对应中央区域平均灰度为纵轴，作出快门时间与灰度值的关系如下图。



由上图可知，灰度值与快门时间正相关，且不成线性关系。

图像 γ 值估测：

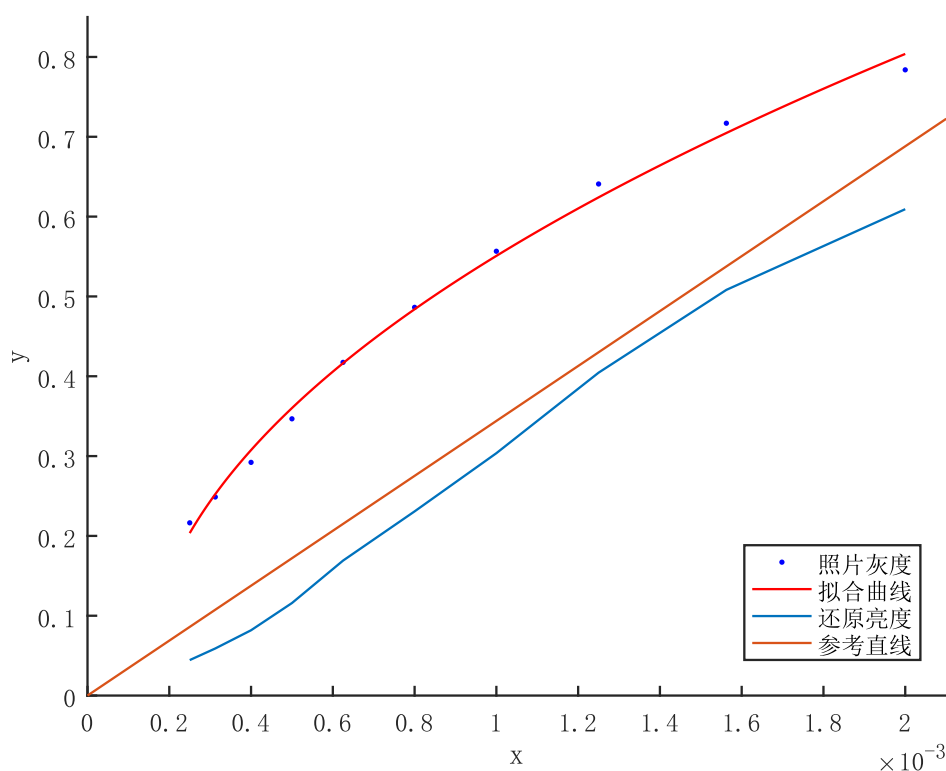
人眼对亮度的感知和物理功率不成正比，而是幂函数的关系，幂函数间这个函数的指数 γ 就称为 Gamma 值。由于这一特性，照相机获取的场景光照也按照该关系存储：

设场景光照为 I ，文件中的数据为 V ，则有 $V \propto I^\gamma$ ，即 $I \propto V^{\frac{1}{\gamma}}$ 。

并且，我们认为 $I \propto t$ 。

按照此模型对拍摄照片中的灰度-曝光时间关系进行拟合，得到 $\gamma = \frac{1}{2.034}$

(95%置信区间为 $(\frac{1}{1.717}, \frac{1}{2.352})$)，取 $\gamma = \frac{1}{2}$ 。拟合图像如下所示。



3) 3-1c 环境光照度评估

实验记录：

我们小组利用微单相机对于不同环境、工作状态下的生活场景进行拍摄。借助 3-1b 中灰度与亮度照度的关系，我们分别估测得到了桌面阅读、太阳直射（即便是在快门速度最快、ISO 最小的情况下仍存在过曝情况）、开灯室内、夜晚全暗、电脑屏幕这五种环境下的中央平均灰度值及照度的情况，对于环境光照度进行合理的评估，结果如下：

条件	t(s)	ISO	中央平均灰度值	E(lx)
桌面阅读	0.0025	100	145	1092.121
太阳直射	0.00025	100	255	57308.49
开灯室内	0.01	100	93	100.198
夜晚全暗	0.5	100	34	0.001552
电脑屏幕	见 3-1b	100	见 3-1b	2400 (见 3-2b)

(注：拍摄所在位置地理纬度 $24^{\circ} 55'$ ，天气状况晴)

结果分析：

我们将利用微单相机评估得到的数值与教科书 6—3 表格所列数值进行比较，来对结果进行分析：

表 6-3 有关情况时的光照度(lx)

晚间无月光时的光照度	3×10^{-4}	读书必需的光照度	50
月光下的光照度	0.2	精细工作时所需的光照度	100~200
明朗夏天室内的光照度	100~500	摄影棚内所需的光照度	10,000
没有阳光时室外的光照度	1000~10000	判别方向必需的光照度	1
阳光直射时室外的光照度	100,000	眼睛能感受的最低光照度	1×10^{-9}

按照定义，光照度，可简称照度，其计量单位的名称为“勒克斯”，简称“勒”，单位符号为“lx”，表示被摄主体表面单位面积上受到的光通量，光照度是衡量拍摄环境的一个重要指标。

由我们得到的结果与书本给的标准做比对桌面阅读光照度比一般室内光照度要高，这是由于我们拍摄时台灯的功率较大且光较集中导致的。同时，我们测量得到结果中，太阳直射时的光照度其实是比实际偏低的，我们分析这是由于太阳直射时的光强度太过于强，导致出现过曝的现象，从而导致我们测得的光照度相对偏低。开灯室内及夜晚全暗时的光照度与书本的标准相对时比较接近的，夜晚全暗这里相对偏高一点，是由于室内情况限制，很难控制完全没有光线，故光照度有一定偏高。电脑屏幕这里其光照度其实是可变的，我们选择了最亮情况下的光照度进行测量，得出结果。

由以上结果记录及分析可知，利用相机进行光照度的评估随会有一定偏差，但还是可行的。

二、 实验 3-2

1) 3—2a 利用相机的亮度评估

实验记录：

我们在夜晚关闭室内照明灯，消除环境光影响的情况下开启相机程序自动模式对各类光源进行拍摄，并通过文献提供的公式进行光亮度计算。该方法的实质

是利用相机画面亮度自动调节(自动光度标定)功能来评估光亮度。这种情况下，对光亮度的评估是相对客观准确的。

得到实验结果如下：

光源	F#	t(s)	ISO	L(nt)
电脑屏幕	4	0.016667	100	147.84
LED 台灯	8	0.003125	100	3153.92
吸顶灯 1	8	0.002	100	4928.00
吸顶灯 2	7.1	0.001563	100	4968.41
手机闪光灯	4.5	0.008	100	389.81
手机屏幕	5.6	0.016667	100	301.48

(注：实验相关照片见报告第五部分)

光亮度计算公式：

$$L = \frac{15.4 \times F\#^2}{ISO \times t}$$

结果分析：

对照书本一些常见光源的光亮度：

表 6-4 一些光源所具有的光亮度(sb)

地面所见的太阳表面	150,000	乙炔焰	8
晴朗的白天天空	0.3	生活照明用白炽钨丝灯	300~1000
月亮表面	0.25	放映、汽车前灯用钨丝灯	1000~2000
日光照射下的纸面	2.5	卤素钨丝灯	3000
放射磷光的表面	6×10^{-5}	碳弧灯	100,000
没有月亮的夜空	10^{-8}	低压汞灯	2~3
烛焰	0.5	超高压球形汞灯	120,000
煤油灯焰	1.5	氙气灯	0.1

按照定义，光亮度又称发光率，以 L 表示，是指一个表面的明亮程度，即光源在垂直其光传输方向的平面上的正投影单位表面积单位立体角内发出的光通量。我们以此为基础对实验结论做分析。

将计算结果与书本中的参考值进行比对。由实际观感，LED 台灯、吸顶灯与钨丝灯的亮度应该还是比较接近的，而实验结果也验证了我们的结论。手机屏幕与电脑屏幕的亮度比较接近，且与最暗的钨丝灯接近，这也符合实际。**综上所述，利用相机的亮度评估所得结果较接近实际。**但需要注意的是，在拍摄手机闪光灯时，由于闪光灯在画面中占比较小（实验相关照片见报告第五部分），相机未完全根据闪光灯亮度调节拍摄参数，导致画面过曝，测量值小于实际值。

2) 3—2b 计算机显示屏角度发光特性评测

实验记录：

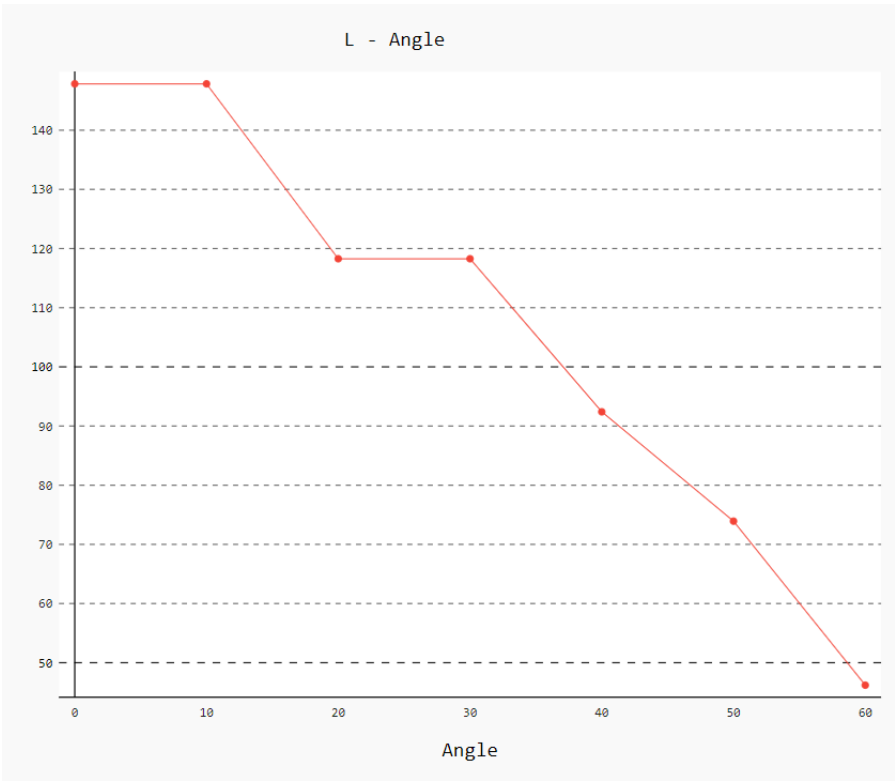
在夜晚时，拉好窗帘、关闭室内所有照明设备，消除环境光影响，将显示屏设为白屏，从不同角度拍摄（此处角度即镜头轴线与屏幕法线所成的角度。由于缺少量角器，该角度通过手机指南针测量），并记录拍摄参数，计算出屏幕亮度及照度。

实验数值处理及记录如下：

角度(deg)	F#	t(s)	ISO	L(nt)	E(lx)
60	4	0.016667	320	46.2	750
50	4	0.016667	200	73.92	1200
40	4	0.016667	160	92.4	1500
30	4	0.016667	125	118.272	1920
20	4	0.016667	125	118.272	1920
10	4	0.016667	100	147.84	2400
0	4	0.016667	100	147.84	2400

（注：从 60 度拍摄显示屏已明显不符合朗伯发光体，故更大角度的奇异数值不在报告中过多叙述，实验照片见报告第五部分）

作出亮度与角度关系图如下：



结果分析：

朗伯发光体定义：朗伯发光体（余弦发光体）是指当入射能量在所有方向均匀反射，在整个半球空间内向四周各向同性的反射能量的现象，一个完全的漫射体称为朗伯发光体，或余弦发光体，发光强度公式如下：

$$I_i = I_N \cos i$$

由此公式可以推得，朗伯体的 L 应该是不随方向改变的

我们在此处采用两种标准评估计算机显示屏角度发光在多大角度内符合朗伯发光体，第一种判断，以 $0.8L_n$ 作为判断是否符合朗伯体的临界光亮度，那么计算机显示屏在 $0-30^\circ$ 范围内近似符合朗伯发光体。

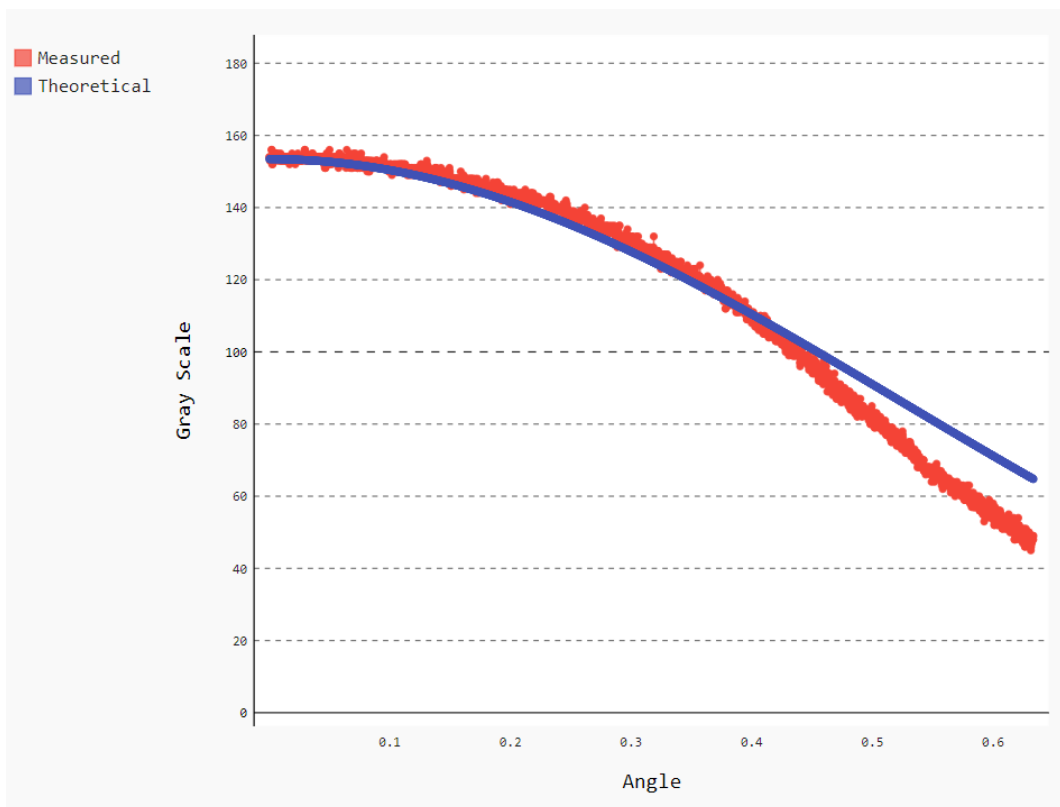
第二种判断，以 $0.5L_n$ 作为判断是否近似符合朗伯体的临界光亮度，那么计算机显示屏在 $0-50^\circ$ 范围内近似符合朗伯发光体

3) 3—2c 成像光学系统像面照度分布

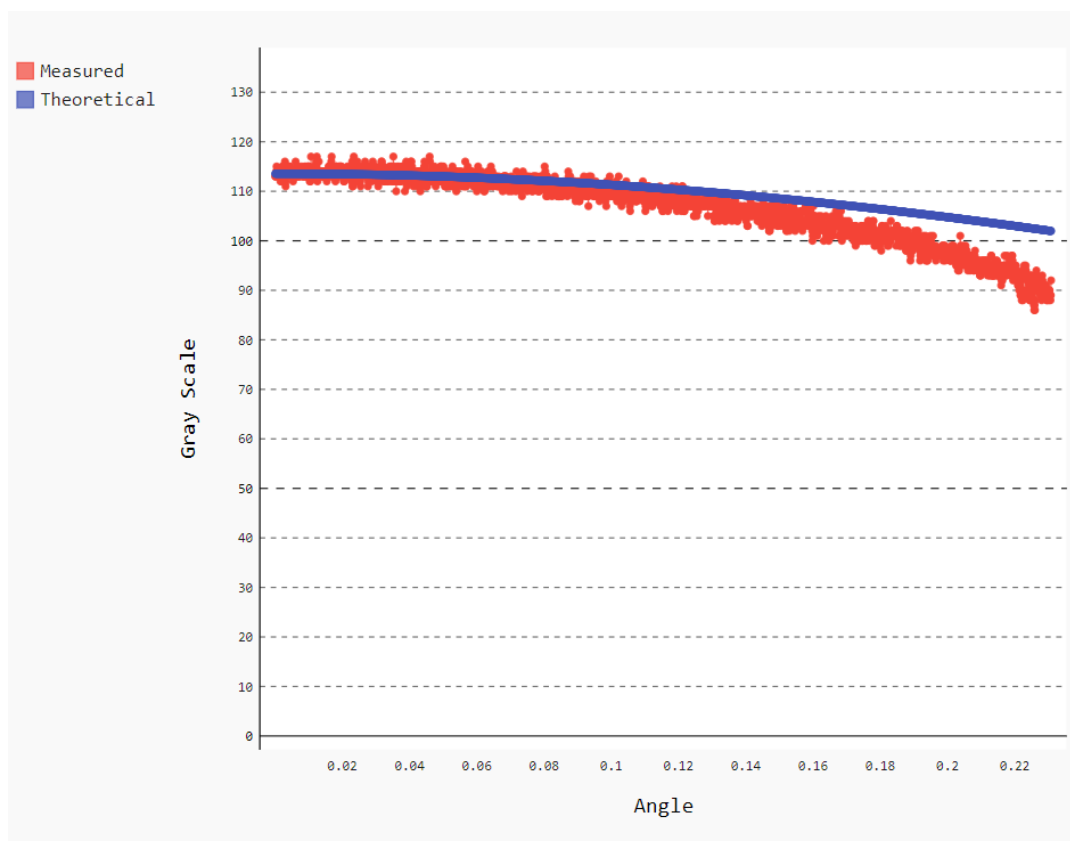
实验记录：

1. 考虑到灰度与照度近似成正比，验证公式时用灰度代替照度

按照要求，分别将相机变焦镜头的焦距调整到最长（50mm）、最短（16mm），正对屏幕，并拍摄完整屏幕。随后利用 OpenCV +Python，取图像中心横轴的一半作为样本，读取横轴上各点的灰度，并计算该点的成像角，作出灰度与成像角的关系图（红点）。在关系图中加上书中 6—43 公式所描述的理想曲线（蓝线）作为比对参考。



（焦距调整到最短，即 16mm 的情况）



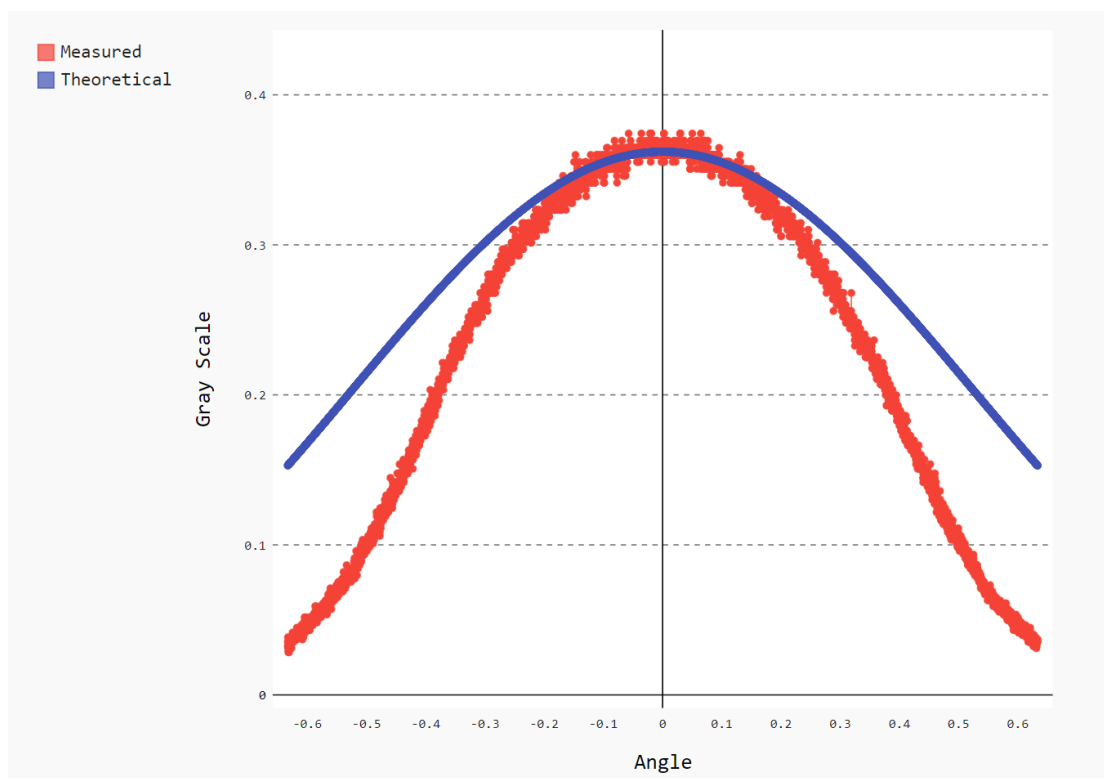
（焦距调整到最长，即 50mm 的情况）

结果分析：

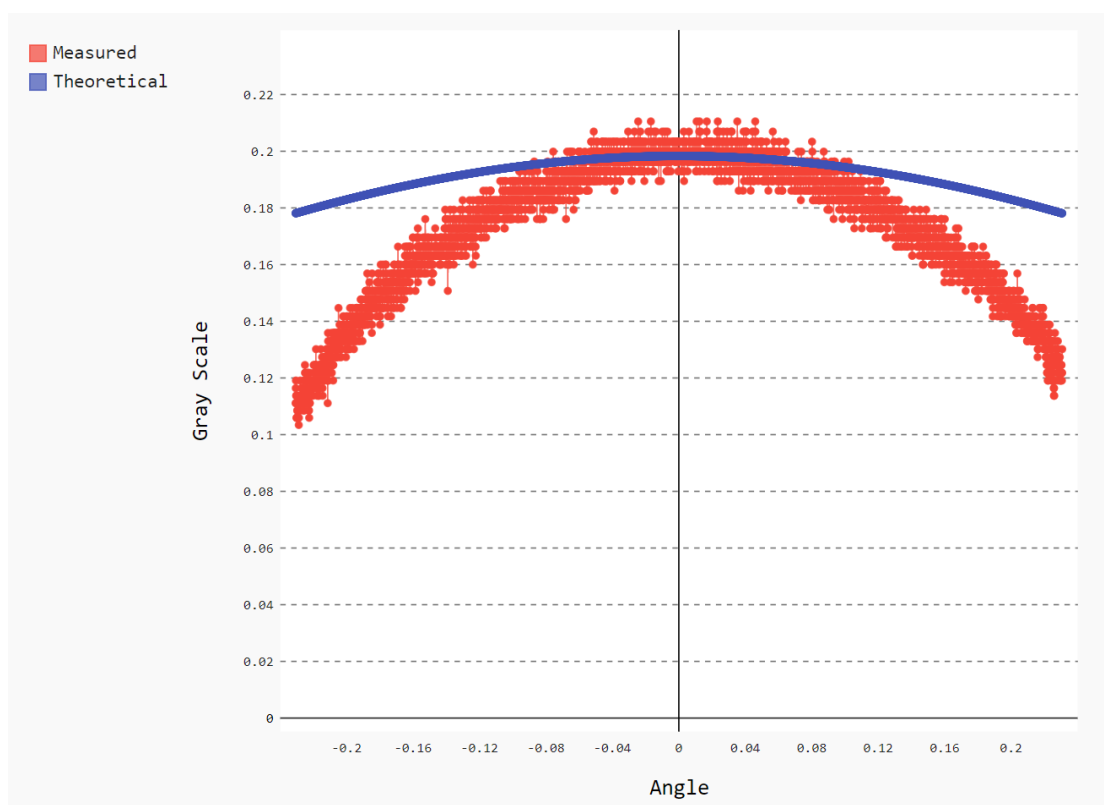
由上图可知，在角度较小时，测量值几乎与理论值重合。当角度逐渐变大，像点接近边缘时，因镜头边缘渐晕影响，导致实际灰度较低，但总的来说误差较小。综上，在一定误差范围内可验证书中公式 6-43。

2. 对灰度值进行 Gamma 还原，根据还原后的照度分析

按照要求，分别将相机变焦镜头的焦距调整到最长（50mm）、最短（16mm），正对屏幕，并拍摄完整屏幕。随后利用 OpenCV +Python，取图像中心横轴作为样本，读取横轴上各点的灰度，将灰度还原为归一化照度，并计算该点的成像角，作出照度与成像角的关系图（红点）。在关系图中加上书中 6—43 公式所描述的理想曲线（蓝线）作为比对参考。



（焦距调整到最短，即 16mm 的情况）



（焦距调整到最长，即 50mm 的情况）

结果分析：

由上图可知，在角度较小时，测量值几乎与理论值重合。当角度逐渐变大，

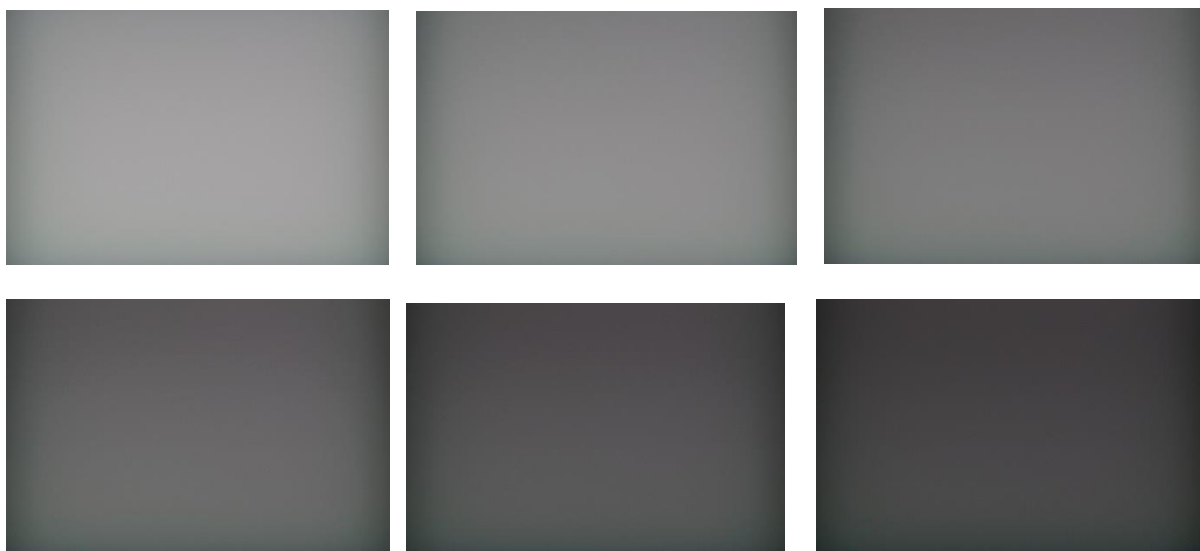
实际照度远低于理论照度。

五、 实验照片记录

实验照片过多，为节省报告空间，在这里仅展示部分：

实验 3-1：

电脑屏幕的照片。曝光时间缩短，亮度逐渐变暗。



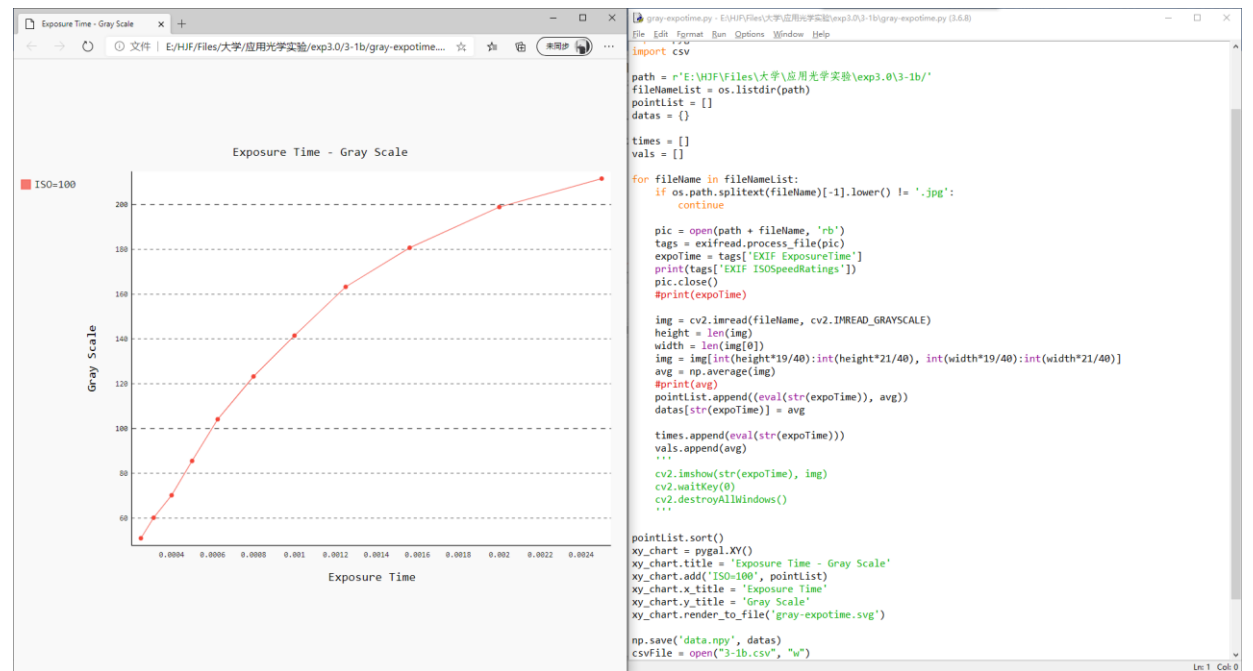
实验 3-2：

用于亮度评估的照片。拍摄顺序为吸顶灯 1、LED 台灯、吸顶灯 2 与手机闪光灯。



六、 实验中涉及的计算机程序

3-1b:



clear;

```
x = [0.002,0.0015625,0.00125,0.001,0.0008,0.000625,0.0005,0.0004,0.0003125,0.00025];
y = [199.8835858269688,182.8277951671466,163.42241141855516,141.9343433078753,124.01131839238764,106.43520721171905,88.405
```

```
x = sort(x);
y = sort(y);
y = y/255;

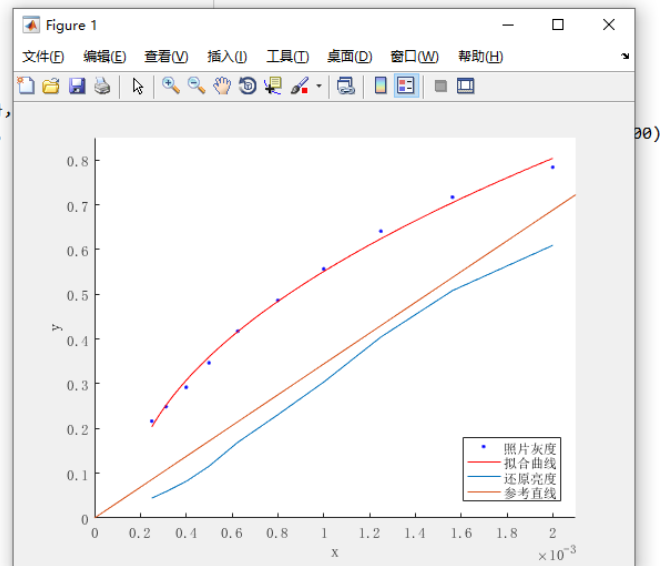
ft = fittype('k*(x-a)^(1/gamma)', 'dependent', {'y'},
f = fit(x', y', ft, 'StartPoint', [0.00025, 300, 2.2],

gamma = f.gamma;
k = f.k;

x2 = linspace(0, 0.0025, 100);
y2 = k*x2;

x1 = x;
y1 = y.^gamma;

hold on;
plot(f, x, y);
plot(x1, y1);
axis([0, 0.0021, 0, 0.85]);
plot(x2, y2);
legend('照片灰度', '拟合曲线', '还原亮度', '参考直线');
set(gca, 'Fontname', 'simsum');
```



3-1c:

```

3-1c-gc.py - E:\HJF\Files\大学\应用光学实验\exp3.0\3-1c\3-1c-gc.py (3.6.8)
File Edit Format Run Options Window Help
fileNameList = os.listdir(path)
datas = np.load('data-gc.npy').item()
E0 = 2400
E = []
picNames = []

for fileName in fileNameList:
    if os.path.splitext(fileName)[-1].lower() != '.jpg':
        continue

    picNames.append(fileName)

    pic = open(path + fileName, 'rb')
    tags = exifread.process_file(pic)
    expoTime = tags['EXIF ExposureTime']
    ISO = tags['EXIF ISO SpeedRatings']
    print(expoTime)
    print(ISO)
    pic.close()
    #print(expoTime)

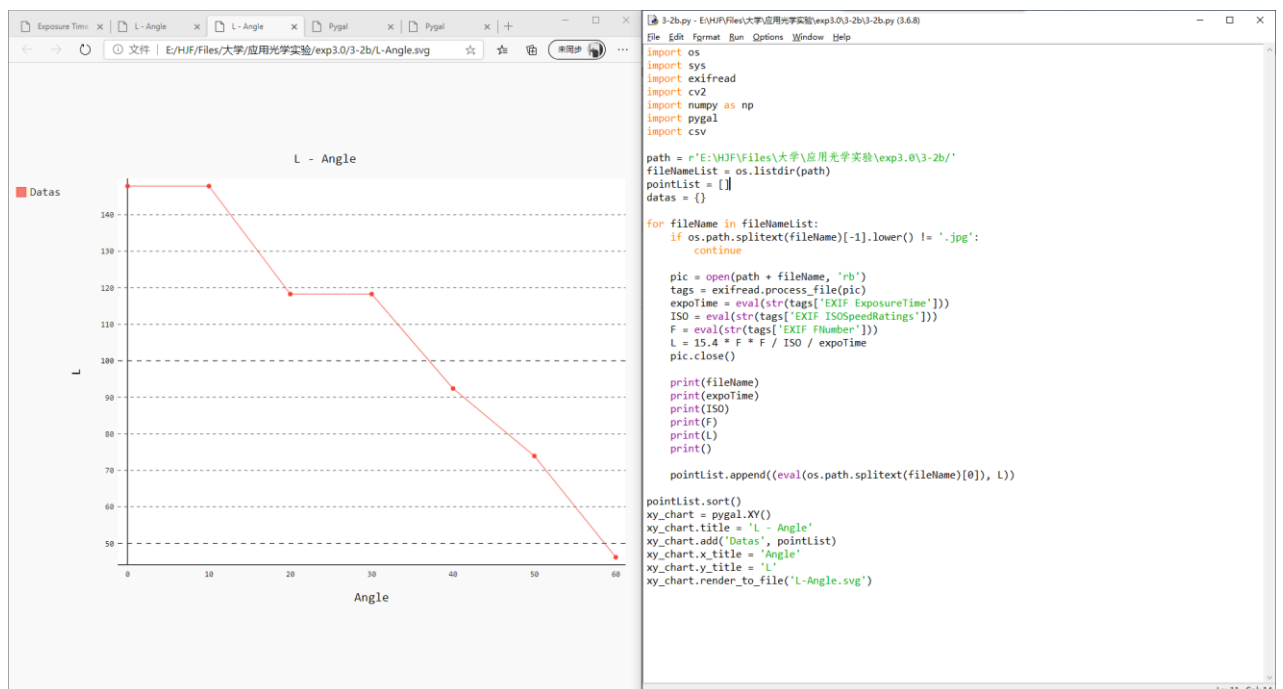
    img = cv2.imread(fileName, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)
    height = len(img)
    width = len(img[0])
    img = img[int(height*19/40):int(height*21/40), int(width*19/40):int(width*21/40)]
    avg = ((np.average(img)/255)*2.073)*255
    print(avg)
    if str(expoTime) in datas:
        tmp = avg / datas[str(expoTime)] * E0
    else:
        tmp = avg / (eval(str(expoTime))/(1/1000)) / datas['1/1000'] * E0
    E.append(tmp)
    print(tmp)
    print()

csvFile = open("data-gc.csv", "w")
writer = csv.writer(csvFile)
writer.writerows([picNames, E])
csvFile.close()

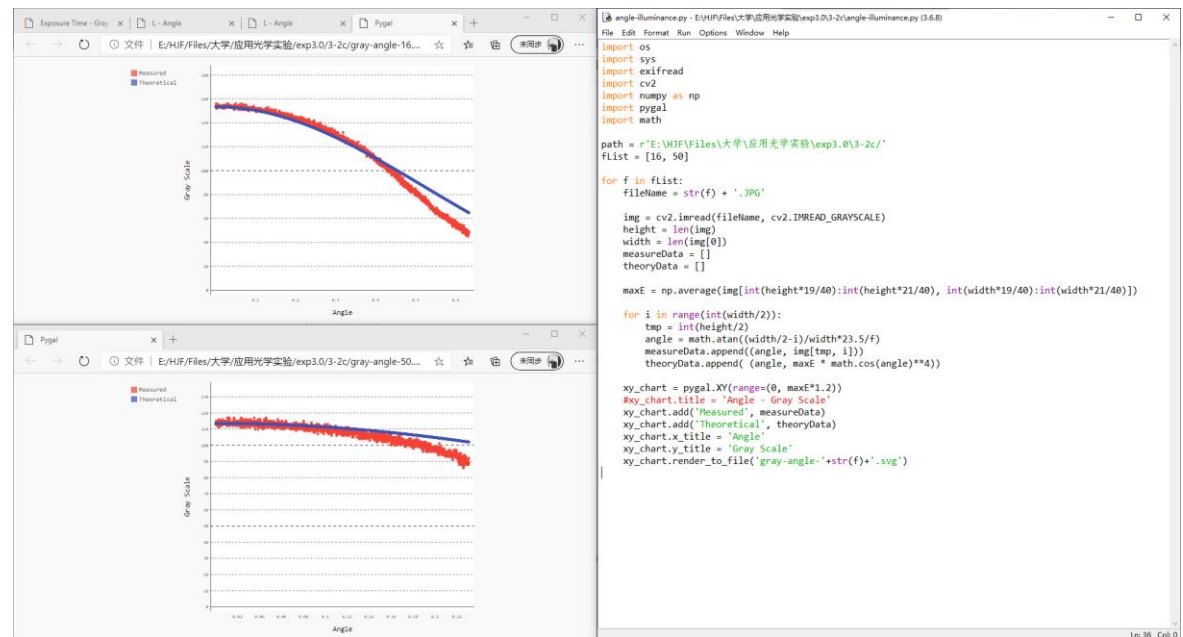
```

Ln: 23 Col: 37

3-2b:



3-2c:



```

angle-illuminance-gc.py - E:\HJF\Files\大学\应用光学实验\exp3.0\3-2c\angle-illuminance-gc.py (3.6.8)
File Edit Format Run Options Window Help

import os
import sys
import exifread
import cv2
import numpy as np
import pygal
import math

path = r'E:\HJF\Files\大学\应用光学实验\exp3.0\3-2c/'
fList = [16, 50]

for f in fList:
    fileName = str(f) + '.JPG'

    img = cv2.imread(fileName, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)
    height = len(img)
    width = len(img[0])
    measureData = []
    theoryData = []

    maxE = np.average(img[int(height*19/40):int(height*21/40), int(width*19/40):int(width*21/40)])
    maxE = (maxE/255)**2

    for i in range(int(width/2)):
        tmp = int(height/2)
        angle = math.atan((width/2-i)/width*23.5/f)
        measureData.append((angle, (img[tmp, i]/255)**2))
        theoryData.append((angle, maxE * math.cos(angle)**4))

    xy_chart = pygal.XY(range=(0, maxE*1.2))
    #xy_chart.title = 'Angle - Gray Scale'
    xy_chart.add('Measured', measureData)
    xy_chart.add('Theoretical', theoryData)
    xy_chart.x_title = 'Angle'
    xy_chart.y_title = 'Gray Scale'
    xy_chart.render_to_file('gray-angle-'+str(f)+'.svg')

```